

모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질 제거
- 상수처리공정 적용 가능성 평가 -

박동근 · 김수정* · 이해군* · 장정국 · 한기백** · 김창원*

동서대학교 환경공학과
*부산대학교 환경공학과
**서라벌대학 환경공업과

(2000년 1월 14일 접수, 2000년 4월 21일 채택)

Suspended Solid Removal using Capillary-syphon Phenomenon
-Evaluation of Possibility for Adapting Water Supply Process-

Dong-keun Park · Su-jung Kim* · Hae-goon Lee* · Jung-kuk Jang ·
Kee-baek Han** · Chang-won Kim*

Dept. of Environ. Eng., Dongseo University
**Dept. of Environ. Eng., Pusan National University*
***Dept. of Environ. Ind., Serabol College*

ABSTRACT

In this study, we investigated the possibility of the elimination of suspended solid and the factors affecting effluent water quality, and the amount of treated water, using the SS removal equipment adapted capillary-syphon phenomenon.

Treated water quantity decreased as the accumulation time and the increase of head of capillary syphon, whereas the effluent water quality was improved. At coagulant dosage 0, 0.45, 1.82 mg/ℓ (as Al⁺³) and limiting flux 107 ℓ/m/day, turbidity of treated water was 2, 1, 0.5 NTU in each case. During operating period 15~17 days, the amount of washing water was just used 0.5~0.7% of the amount of treating water.

So it is expected that coagulation & sedimentation and rapid filtration process can be replaced with the SS removal equipment adapted capillary-syphon phenomenon in water purification process.

요 약 문

본 연구는 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치를 사용하여 부유물질제거 가능성 및 처리수량과 수질에 미치는 영향인자에 대하여 검토하였다.

처리수량은 누적처리시간과 모세관 사이폰 유입부 수두가 클수록 작아지는 반면에 처리수 질은 향상되는 경향을 보였다. 한계 flux를 $107 \ell/m/day$ 로 하고, 응집제를 각각 0, 0.45, $1.82 \text{ mg}/\ell$ (as Al^{+3})로 주입하였을 때 처리수 탁도는 평균 2, 1, 0.5 NTU 를 보였고, 15~17 일간 운전하는 동안 세척수량은 처리수량의 약 0.5~0.7%가 사용되었다.

따라서, 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치는 정수처리과정 중의 응집침전과 급속여과공정에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 모세관 사이폰 현상, 부유물질제거, 정수처리

1. 서 론

수중의 미세한 입자를 분리하는 것은 수처리 기법에 있어서 기술적으로 매우 어렵고도 중요한 과정으로, 이미 100년 전부터 응집, 침전, 여과, 부상 등의 방법을 통하여 발달되어 왔다. 그리고 현대에 들어와 막처리기법과 같은 기술들이 제조기술발달에 힘입어 새로운 고액분리기법으로 자리잡아가고 있다.¹⁾

중력을 이용한 응집침전법과 부상분리법은 1차처리 혹은 2차처리에 적용하는 기술이기 때문에 일정수준 이상의 부유물질 제거효율을 기대하기는 어렵다. 또한 기존의 응집침전법으로 강화되고 있는 규제를 만족시키기 위해서는 다량의 응집제를 투여해야 하므로 경제성면에서 한계를 드러내고 있다.²⁾

입자크기를 이용한 여과 및 막분리는 부유물질의 제거효율은 좋으나 유입되는 부유물질의 농도가 너무 높으면 운전이 곤란하다. 특히, 막분리법은 설치면적을 축소할 수 있고, 응집제 첨가량과 pH제어 등이 불필요해 판리가 용이하며 미소한 콜로이드상 물질까지 제거할 수 있는 장점이 있으나 막의 파손과 막힘문제로 인한 과도한 운영경비를 요구하며, 고가인 단점이 있다.³⁾

또한, 우리나라 정수처리공정을 보면 원수의 수질 특성이나 시설규모에 대한 고려를 적절하게 반영하지 않고 안전율을 상당히 고려하였음에도 불구하고 정수의 수질은 비슷한 정수처리방식의 외국 정수장 수질보다 양호하지 못한 실정이다. 이러한 문제는

정수처리공정의 낮은 효율성에서 비롯된 것으로서 결과적으로는 시설 및 운영비용의 증가와 약품 과다 사용으로 이어지며 과도한 약품의 사용에도 불구하고 안전하고 깨끗한 정수생산에 어려움을 겪고 있는 실정이다.⁴⁾

따라서, 부유물질을 제거하기 위한 단위공정에 약품이나 동력은 거의 사용하지 않고, 조류와 같은 미세한 부유물질까지도 제거 가능하고, 유지판리가 용이한 새로운 부유물질제거를 위한 처리기술이 필요할 때이다.

본 연구에서 사용한 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치^{5~7)}는 다량의 미세한 섬유사와 섬유사 사이에 다양한 직경을 가지는 모세관이 무수히 형성된다는 점, 모세관 직경보다 큰 부유물질은 모세관 속으로 이동할 수 없다는 점, 그리고 모세관 직경보다 작은 부유물질이 모세관 속으로 이동하더라도 이동속도는 물이 더 빠르다는 점 등을 이용한 것이다. 따라서 부유물질을 함유한 원수조와 부유물질이 제거된 처리수조를 다량의 섬유사로 연결하면 다양한 직경의 무수한 모세관 사이폰관이 형성되어 깨끗한 처리수를 얻을 수 있다. 본 연구는 상기한 장치를 이용하여 부유물질을 제거할 수 있는 가능성을 검토하고, 나아가 본 연구에서 사용한 부유물질 제거장치가 정수처리 공정중 부유물질제거공정인 응집침전과 급속여과공정을 대체할 수 있는지의 가능성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

부유물질의 제거 가능성을 검토하기 위하여 모세관 월류를 통한 처리수량과 모세관 유입부의 수두 및 누적처리시간과의 관계실험과 모세관을 통한 월류속도와 처리수 수질 평가 실험 및 무기성 부유물질의 연속적인 분리효능 실험을 수행하였다.

모세관 사이폰 현상을 이용한 연속적인 부유물질 제거능 검토를 위해서는 카오린을 사용하여 응집제 투여량(0, 0.45, 1.82 mg/l (as Al³⁺))에 따른 처리수량 및 처리수 수질, 세척수량, 세척주기, 모세관 내부 변화를 탁도, 부유물질농도 측정을 통하여 확인하고자 하였다. 처리수량 및 처리수 수질로부터 상수의 부유물질 제거공정인 응집침전과 급속여과 공정에의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

2.1. 실험 재료

모세관 사이폰 현상에 미치는 영향인자에 대한 문헌조사⁸⁻¹²⁾를 통해 모세관의 물기등을 상승시키기 위해서는 모세관 반지름이 작고, 액체의 분자 응집력보다 고체-액체의 부착력이 커서 접촉각이 적어도 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 인 물질을 선택해야 한다.

모세관현상은 섬유사와 섬유사 사이의 공극에서 일어나며, 본 연구에서 사용한 아세테이트 섬유사는 hygroscopic property(%) 6.0~7.0, specific gravity 1.32, tensile intensity(g/D) 1.2~1.4, intensity ratio of dry & wet(%) 0.7~0.9, initial intensity resistant degree(g/d) 30~45, shear stress(g/d) 1.0~1.3의 특성을 가지며, 접촉각은 접촉각기기와 접촉각 각도계(contact angle : Paul N. Garkmer Company Inc.)를 사용하여 측정된 결과 77°였다. 접촉각이 예각으로 모세관 사이폰의

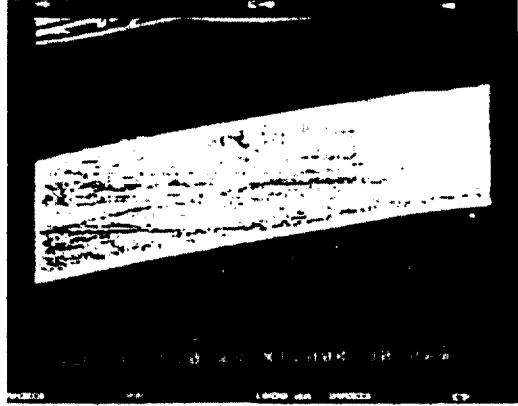


Fig. 1. SEM photograph(diameter).

원리가 적용 가능한 것으로 판명되었다. 또한 섬유사의 직경은 SEM(model HITACHIS-4200) 촬영 결과 약 30 μ m였으며, Fig. 1에 나타내었다.

무기성 부유물질로는 카오린(Showa chemical Inc.)을 사용하였고, 그 성분 및 입경은 Table 1과 같다. 유기성 부유물질로는 S수산업체의 생물학적 처리공정중 폭기조내의 활성슬러지를 회석하여 사용하였다.

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질 제거 가능성 평가

(1) 기초실험

모세관 사이폰 현상을 이용한 기초실험으로 모세관 유입부 수두에 따른 모세관형성섬유사의 월류량 및 월류속도, 부유물질 제거율 등을 관찰하고자 Fig. 2와 같은 기초실험 장치로 실험하였으며, 총 체적 8l의 아크릴수조 상면에 모세관형성섬유사 15다발을 월류길이 15cm로 하여 안팎으로 걸쳐 내

Table 1. Composition of kaolin

	Components						Remarks
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	H ₂ O	
fraction (%)	72.1	19.6	0.4	0.8	0.5	0.8	Whiteness degree : 87.5 pH : 6.8 Mesh : 300 (under 50 μ m)

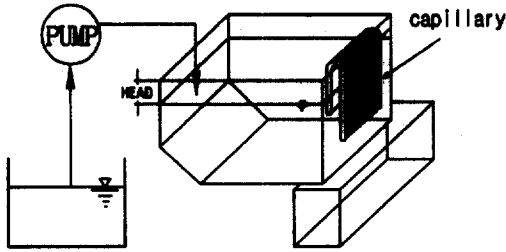


Fig. 2. Experimental equipments.

부의 반응액이 밖으로 배출될 수 있도록 하고 모세관 통로를 형성시켜 월류유로를 만들었다. 사용한 모세관형성섬유사는 아세테이트 섬유사로서 1필라의 직경이 약 $30\mu\text{m}$ 이며, 1다발이 약 10,750개의 필라로 구성되어 있다.

지하수를 사용하여 모세관 유입부 수두(head) 130mm에서부터 점차적으로 수위를 상승시키면서 만수위까지 1차, 2차, 3차, 4차로 각 수위별 유출량을 측정하였다. 모세관형성섬유사를 깨끗이 세척한 후 모세관 유입부 수두에 따른 시간과 유출량을 측정하였다.

또, 원수의 종류별 모세관을 통한 월류속도와 처리수 수질을 평가하기 위하여 지하수, 활성슬러지혼합액, 양어장 순환수를 원수로 하여 모세관 유입부 수두(head)에 따른 처리수 flux(l/m/hr)와 처리수의 부유물질 농도(mg/l)를 측정하였다. 활성슬러지 혼합액은 S수산업체의 생물 반응조액을 희석하여 부유물질 농도 28 mg/l , 10.6 mg/l 로 하여 사용하였으며, 양어장 순환수로는 30 mg/l 농도를 사용하였다.

(2) 무기성 부유물질의 연속적인 분리 실험

Fig. 3은 무기성 부유물질의 연속적인 분리 실험 장치로서 원수조, 부유물질제거조, 처리수 집수조로 비교적 간단하게 되어 있으며, 부유물질제거조 상변에 모세관형성섬유사(아세테이트)를 총 월류길이 450cm로 설치하였다. 부유물질제거조에 원수가 파잉으로 들어오면 반응조 상변에 설치된 by pass관을 통해 원수조로 다시 유입되도록 하고, 부유물질제거조 바닥에 drain관을 설치하여 세척시 세척수가 배출되도록 하였다.

장치의 효율을 높이기 위하여 부유물질제거조 및 처리수 집수조를 다단으로 설치할 수 있도록 하였으

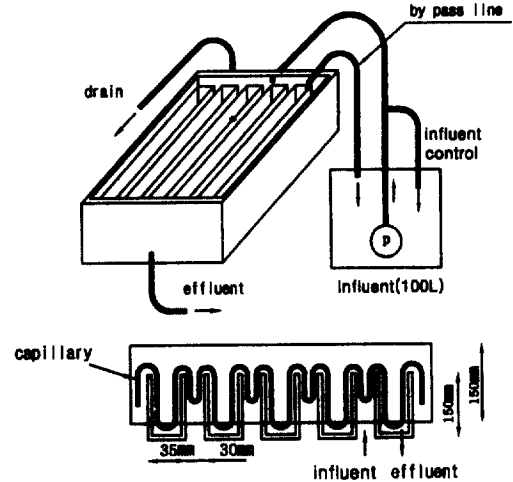


Fig. 3. Consecutive equipment for inorganics separation.

며, 원수의 농도는 매일 카오린을 10~50g씩 추가하여 초기 원수탁도를 300~700NTU로 조절하여 사용하였다.

유출수 수량을 측정함과 동시에 모세관 부유물질 제거 장치의 수두(mm)를 측정하고, 수질을 파악하기 위해 원수와 처리수, 모세관 세척수의 부유물질 농도(mg/l) 및 탁도(NTU)를 측정하였다. 또, 모세관 월류부의 단위길이당 처리수량(l/m/hr)를 측정하고, 원수 및 처리수의 탁도(NTU)를 분석하였다.

2.2.2. 상수처리공정 적용 가능성 평가

Fig. 4의 상수처리공정 적용 가능성 평가를 위한 부유물질제거 장치는 원수조, 부유물질제거조, 처리수 집수조로 구성되어 있다.

원수조는 200 l의 원통을 사용하였고, 부유물질제거조는 아크릴을 사용하여 약 2.4 l (L1200mm × W40mm × H50mm) 크기로 만들고, 부유물질제거조의 원수유입부의 반대쪽면 반응조 상변에 과부하수 배출관을 설치하여 원수수면과 모세관 사이폰 정점까지의 수두차를 10~15mm로 유지시킴과 동시에 과부하수는 과부하수 배출관을 통해 원수조로 유입되도록 하였다. 부유물질 제거조의 상변 양옆으로 아세테이트 섬유사를 월류길이 1.8m가 되도록 부유물질제거조 상변에 110다발을 설치하였고, 모

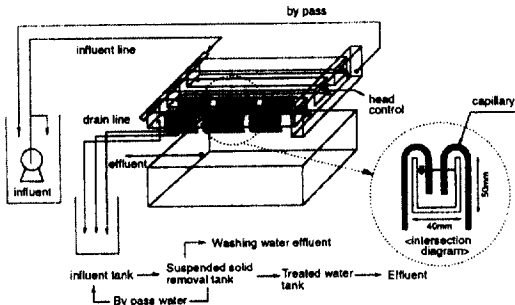


Fig. 4. Suspended solid removal device which is mechanized by capillary and syphon phenomenon.

세관 사이폰 현상으로부터 처리된 처리수는 부유물질 제거조 밑부분에 설치된 처리수 집수조(L1500mm×W500mm×H200mm)에 포집되어 외부로 배출되도록 하였다.

기존 상수공정중 응집침전과 급속여과공정의 1일 처리수량은 단위면적당 각각 20~40m³/m²/day, 120~240m³/m²/day이다. 두 공정을 동시에 대체한다는 가정을 하면 단위면적당 17.14~34.3m³/m²/day의 처리수량을 처리하면 된다. 따라서, 1m²당 모세관형성섬유사를 월류길이 32m, 5단을 설치한다고 가정을 하고 Fig. 4의 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거장치에 적용할 경우 이론상 계산을 하면 한계 flux 107 l/m/day가 된다. 그러므로 세척주기는 한계 flux로 모세관형성섬유사 단위 월류길이당 처리수량 107 l/m/day 이하가 되면 세척시점으로 잡고, 세척수의 노즐분사속도 18.2ml/min로 세척하였다.

98년 1월중 낙동강 원수를 채취하여 측정한 결과 13~14NTU였다. 따라서 유입 원수의 카오린 농도를 30mg/l (14NTU)로 하고 여기에 황산알루미늄(Al₂(SO₄)₃·14H₂O)을 0, 0.45, 1.82mg/l (as Al⁺³)로 주입하여 누적처리시간(hr)에 따른 처리수량(l/hr)과 원수 및 처리수 탁도(NTU)를 측정하여 응집제 투입량에 따른 특성실험을 수행하였다. 또, 부유물질제거조를 가동하는 동안 모세관형성 섬유사 내부 구간지점인 유입부, 유입부와 월류부사이, 월류부, 유출부에 대해 누적시간(hr)에 따라 각각 시료를 취한 뒤 탁도(NTU) 및 SS농도(mg/l)를 측정하여 모세관 내부변화를 관찰하였다.

탁도는 탁도계(Turbidimeter DRT-100B)를 사용하였고, 부유물질 측정은 수질오염공정시험법을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질 제거 가능성 평가

모세관 월류를 통한 처리수량과 모세관 유입부의 수두 및 누적처리시간과의 관계를 알아보기 위해 Fig. 2에 나타난 기초실험장치를 이용하여 수두(head, mm)에 따른 구간 flux(l/m/hr)를 측정하였다.

Fig. 5의 수두(head)에 따른 구간 flux 그래프에 잘 나타나 있는 것과 같이 모세관월류길이당 처리수량(l/m/hr)은 모세관사이폰 유입부 수두(head), 즉 반응조 상변과 수면까지의 거리가 증가할수록 감소하는 경향을 보이며, 연속적인 실험시 시간(hr)이 증가할수록 flux(l/m/hr)는 감소하였다. 이는 모세관내 이물질 부착으로 모세관경이 축소되어 저항이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 세척 직후 가장 많은 flux를 얻을 수 있었다. 이것으로 구간 flux로 모세관통과유량은 모세관의 세척정도와 모세관유입부의 수두에 일정한 관계가 있음을 확인하였다.

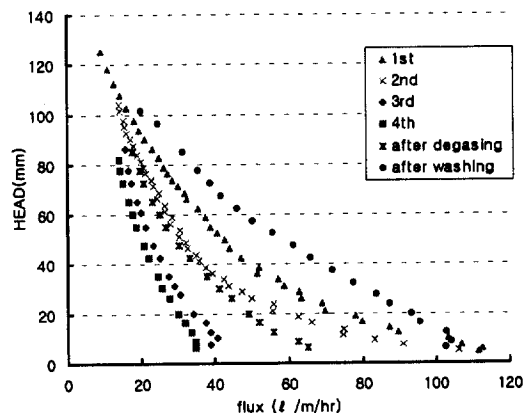


Fig. 5. Water head depending on variation of sectional flux.

Table 2. Effluent water quantity and quality after capillary filtration

Raw	raw water quality(mg/ℓ)		head(mm)	flux(ℓ/m/hr)	effluent SS _{avg.} (mg/ℓ)	SS removal effi.(%)
	DS	SS				
ground water	120	-	10	35~125 (avg 80)	-	-
			20	30~117 (avg 77)		
			40	25~105 (avg 63)		
			80	20~78 (avg 48)		
			120	18~50 (avg 37)		
activated sludge	-	28	10	28~57	1.9	93.2
	-	10.6	15	25~47	1.0	93.1
			25	25~39	0.6	
50	17~33	0.6				
fish-farm circulation water	-	30	15	18~45	3.8	87.3

또한 원수 종류별 모세관을 통한 처리수량과 처리수 수질의 확보가능성을 확인하기 위해 Fig. 2의 장치를 이용하여 실험하였으며, 그 결과는 Table 2에 나타내었다. 활성슬러지 반응액을 희석한 부유물질 농도 28, 10.6mg/ℓ를 모세관형성섬유사(아세테이트 섬유사)사이의 공극인 모세관 통과후 처리수 수질을 보면 1.9, 0.6mg/ℓ로서 깨끗한 수질을 얻을 수 있었으며, 양어장 순환수와 같이 미세조류가 포함된 부유물질의 경우도 87.3%의 비교적 높은 처리효율을 볼 수 있었다. 모세관을 통한 처리수량은 부유물질의 농도, 세척정도, 모세관 유입부 수두 등에 관계하나 가장 민감하게 작용하는 것은 모세관의 세척정도임을 알 수 있었다.

활성슬러지 혹은 양어장 순환수의 모세관 월류부의 단위길이당 처리수량을 보면 평균 20 ℓ/m/hr로 나타나 1m²당 모세관 월류부를 20m정도 설치하고, 10단 정도 입체적으로 배열하면 응집제의 사용없이도 우수한 수질의 처리수를 약 100m³/m²/day의 속도로 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

무기성 부유물질(카오린)의 제거 및 처리수량 확보의 가능성을 점검하고자 Fig. 3의 무기성 부유물질의 연속적인 분리 실험장치를 사용하였다.

누적처리시간에 따른 단위길이당 처리수량을 Fig. 6에 나타내었다. 누적처리시간이 지속될수록 즉, 모세관에 부유물질이 축적될수록 flux(ℓ/m/day)가 떨어지는 경향을 보였고 세척후 다시 flux가 회복됨을 보여 주고 있다. 카오린에 의한 초기 원수 탁도가 300~700NTU인 고탁수를 장기간 운전한

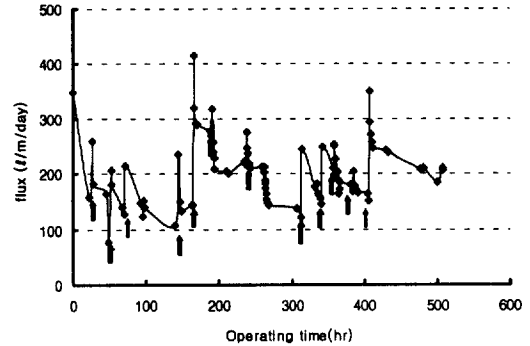


Fig. 6. Variation of effluent water flux at an unit length along operation time.

결과 20일 정도 가동시 12회만의 세척으로도 평균 190 ℓ/m/day정도의 flux를 얻을 수 있었다. 이때 사용된 세척수는 처리수량의 2%에 불과했다. 이러한 장치를 입체적으로 다단 설치한다면 단위면적당 보다 많은 처리수를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들어 1m²당 월류길이 40m의 모세관 형성섬유사를 20단 설치한다고 가정하면 평균 152m³/m²/day의 수량은 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

카오린을 이용한 높은 탁도의 원수를 연속처리한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 처리수 수질을 보면 높은 탁도(초기 원수탁도 300~700NTU)에도 불구하고 부유물질농도 6.5~1.4mg/ℓ, 탁도 5.94~1.96NTU의 수질을 얻을 수 있었으며, 총 부유물질 제거율은 95~99.5%, 탁도제거율은 95.3~98.3%로 나타났다.

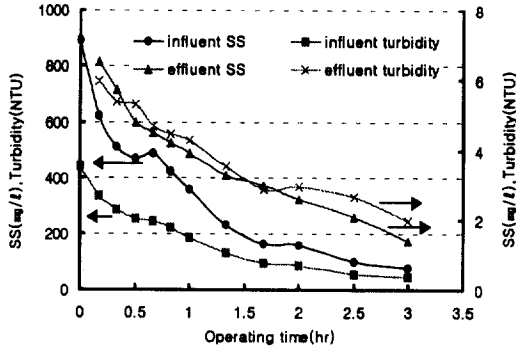


Fig. 7. The variation of SS and turbidity in influent and effluent.

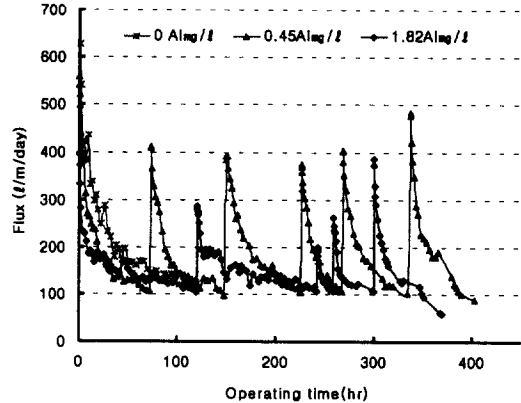


Fig. 8. The variation of effluent water flux by different coagulant dosage.

3.2. 상수처리공정 적용 가능성 평가

3.2.1. 처리수량 평가

Fig. 8에서 보는 바와 같이, 응집제 투여량에 따른 처리수량은 응집제 투여량이 0, 0.45, 1.82 mg/l (as Al³⁺)로 증가할수록 초기 flux가 627, 541, 397 l/m/day로 감소하는 경향을 보였다.

무응집처리일 경우 약 5일간 세척없이도 1.8m³의 처리수량을 얻을 수 있었고, 응집제를 사용한 경우 15~17일간 가동함에 있어 세척수량은 처리수량의 약 0.5~0.7%만을 사용, 4~5회 세척하고도 초기 만큼의 처리수량을 확보할 수 있었다. Table 3은 처

리수량에 따른 세척수량 및 주기를 나타내었다.

3.2.2. 처리수 수질 평가

처리수 수질을 평가하기위해 원수로 사용한 카오린 30mg/l (14NTU)에 응집제의 농도물 0, 0.45, 1.82 mg/l (as Al³⁺) 넣고 시간(hr)에 따라 상등수의 탁도를 측정된 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 누적시간이 4hr의 경우 상등수 탁도를 비교해 보면 무응집인 경우와 응집제량이 0.45mg/l (as Al³⁺)인 경우는 약 7NTU, 응집제량이 1.82mg/l (as Al³⁺)인 경우 약 3NTU인데 반해, Fig. 10의 모세

Table 3. The variation of flushing water quantity depending on effluent water volume in each flushing periods

Division	coagulant 0.45mg/l (as Al ³⁺)		coagulant 1.82mg/l (as Al ³⁺)	
	quantity(ℓ)	SS(g)	quantity(ℓ)	SS(g)
1st washing	5.25	14.92	5.38	11.77
2nd washing	3.80	20.64	4.24	2.82
3rd washing	13.35	29.57	6.81	22.47
4th washing	5.81	15.53	2.60	16.55
5th washing	8.43	22.13		
total washing water	36.64	102.79 (2,805 mg/ℓ)	19.03	53.61 (2,817 mg/ℓ)
total treated water	5354.00	160.62	3969.00	119.07
washing water (%)	0.68 %		0.48 %	
operating days	17 days		15 days	

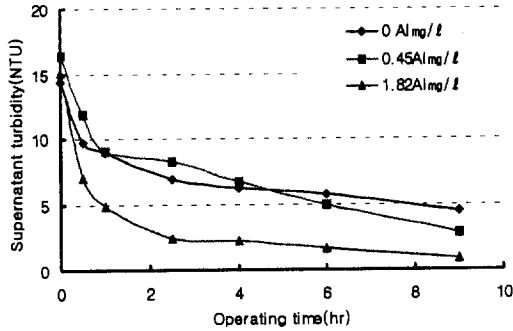


Fig. 9. The variation of supernatant turbidity by reaction time with different coagulant dosage.

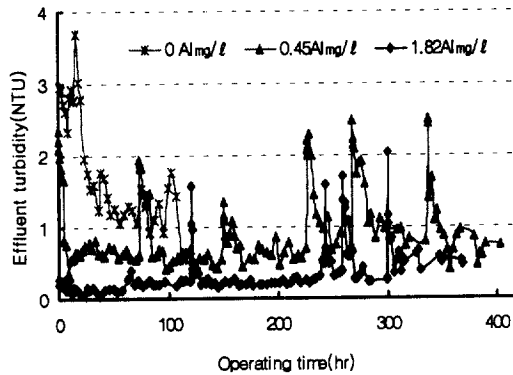


Fig. 10. The variation of effluent water turbidity depending on coagulant dosage.

관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치로부터 나온 처리수 수질을 비교해 보면, 정상상태에서 무응집인 경우 평균 2NTU, 응집제량이 0.45, 1.82 mg/l (as Al³⁺)인 경우 각각 평균 1, 0.5NTU의 깨끗한 처리수 수질을 얻을 수 있었다.

한편 Fig. 8과 Fig. 10에서 보는 바와 같이 세척 직후 처리수 탁도가 정상상태의 평균치보다 다소 높은 이유는 모세관형성점유사 사이의 부유물질제거로 인해 모세관직경이 다소 넓어져 있기 때문인 것으로 판단된다. 또, 응집제를 1.82mg/l (as Al³⁺) 투여한 경우에는 0.45mg/l (as Al³⁺) 투여한 경우에 비하여 세척후 여과공정에서 처리수의 탁도가 정상상태에 도달하는데 걸리는 시간이 더 빨랐음도 확인할 수 있었다.

3.2.3. 모세관 내부변화 평가

Fig. 11에서 보는 바와 같이 응집제 투여량에 따른 모세관 내부변화는 응집제 투여량이 많을수록 모세관 유입부에서 주로 부착하여 제거되고, 응집제 투여량이 적을수록 월류부에서 부유물질이 농축되는 경향이 있었다. 또 Fig. 12는 응집제를 사용하지 않고 운전하였을때의 누적처리시간에 따른 모세관의 내부변화를 나타낸 것이고, Fig. 13은 응집제를 1.82mg/l (as Al³⁺) 투입하여 운전하였을 때의 누적처리시간에 따른 모세관 내부변화를 나타낸 것이다. 누적처리시간이 지속될수록 무응집 카오린 용액 중의 부유물질은 모세관 월류부쪽에 축적되고 응집제를 1.82mg/l (as Al³⁺) 투여한 경우에는 유입부쪽에 축적되는 경향을 보였다.

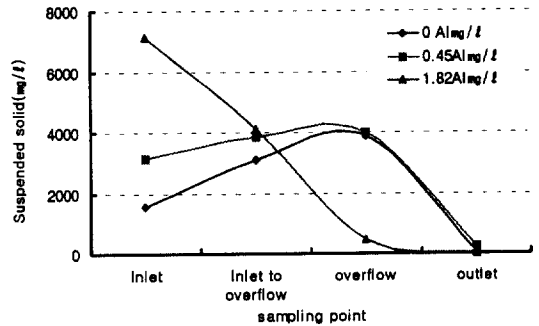


Fig. 11. Suspended solid concentration profile of each part of capillary with different coagulant dosage.

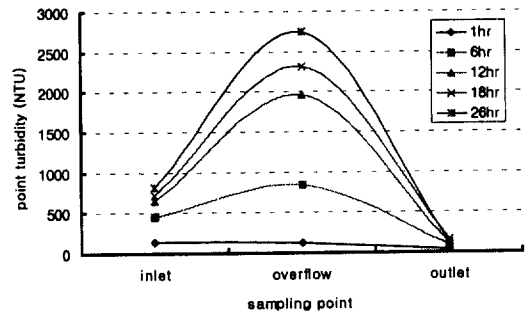


Fig. 12. Turbidity profile of each part of capillary with different cumulative operating time (without coagulation).

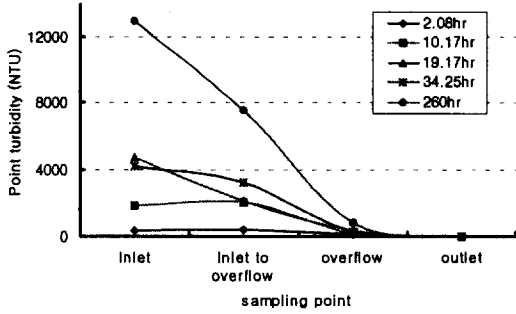


Fig. 13. Turbidity profile of each part of capillary with different cumulative operating time(with coagulation 1.82mg/l (as Al³⁺)).

3.2.4. 상수처리 적용가능성 평가

우리나라 음용수 수질기준은 1999년 7월 1일부터 2NTU에서 1NTU로 강화되고, 2001년 7월 1일부터 다시 0.5NTU로 강화될 예정이다.¹³⁾ 또 1996년도 국내 상수처리의 월평균 응집제 투여량^{14,15)}은 Al³⁺ 기준으로 0.7~3.84mg/l (as Al³⁺)였다.

모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치를 사용한 본 연구에서는 응집제를 Al³⁺로서 1.82 mg/l (as Al³⁺) 투여하였을 때 0.5NTU 이하의 처리수(Fig. 10)를 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에 사용된 장치는 정수처리공정의 여과시설을 대체하여도 좋을 것으로 판단된다.

또, 홍수시의 하천수 탁도에 필적하는 300~700 NTU의 원수를 응집제없이 처리하여도 2~6NTU 까지 처리(Fig. 7)할 수 있었기 때문에 응집제를 적절히 주입한다면 본 장치는 정수처리공정의 침전공정과 여과공정을 동시에 대체할 수도 있을 것으로 기대된다.

만약, 기존 정수처리장의 침전지 표면부하를 30m³/m²/day로 하고, 여과지의 여과속도를 250m³/m²/day로 한다면, 침전지와 여과지를 합한 부지 1m²당 하루에 26.8m³의 음용수를 생산할 수 있다. 한편 본 연구에서 사용한 장치는 1m²당 32m 이상의 모세관 월류부를 설치할 수 있었으며, 모세관 월류부 1m를 기준으로 한 평균여과속도는 하루에 190 l/m/day였다(Fig. 6). 따라서, 모세관 월류부가 141m만 있으면 하루에 26.8m³의 음용수를 만들 수 있다.

즉, 본 장치의 소요부지는 모세관 월류부를 연직

방향으로 5단 설치하였을 때 기존정수장에서 필요로 하는 부지면적과 같아진다. 1단에 필요한 최소높이는 약 20cm이면 충분하기 때문에 본 장치를 5단으로 설치한다면 총 장치의 높이는 1m에 불과해서 기존 정수장의 침전지와 여과지가 차지하는 부지면적을 절반이하로 줄일 가능성도 있다.

따라서, 모세관 사이폰 현상을 이용한 부유물질제거 장치를 상수처리공정에 적용한다면 부지면적을 적게 차지하고, 동력을 거의 사용하지 않고, 관리가 용이할 것이다. 또 응집제 사용량을 줄임으로 경비 절감과 함께 요즘 문제시 되고있는 처리수중의 잔류 Al의 경감효과도 이를 것으로 기대된다.

4. 결 론

- 1) 처리수량은 누적처리시간과 모세관 사이폰 유입부 수두가 클수록 작아지는 반면에, 처리수 수질은 향상되는 경향을 보였다.
- 2) 카오린에 의한 초기 원수탁도가 300~700NTU 인 조건으로 장기운전한 결과 모세관 월류부의 단위길이당 처리수량은 평균 190 l/m/day였다. 이러한 장치를 입체적으로 다단 설치하면 단위면적당 보다 많은 처리수량을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 아세테이트 섬유사를 설치하고, 한계 flux를 107 l/m/day로 하여 카오린 30mg/l를 원수로 사용한 경우 응집제 투여량이 각각 0, 0.45, 1.82mg/l (as Al³⁺)일 때 처리수 탁도는 평균 2, 1, 0.5NTU로 비교적 깨끗한 수질을 얻을 수 있었다. 응집제를 사용한 경우 15~17일간 가동하는 동안 세척수량은 처리수량의 약 0.5~0.7%사용하여 4~5회의 세척만으로도 초기만큼의 처리수량은 확보되었다.
- 4) 위 결과로부터 모세관 사이폰 현상을 이용하여 무동력, 저약품으로 정수처리의 부유물질제거면에서 응집침전과 급속여과공정에 적용 가능할 것으로 기대된다.
- 5) 본 장치에 의한 부유물질제거 Mechanism에 대한 규명, 모세관형성 섬유사의 재질개선, 부착부유물질의 제거방법의 개선 등에 관한 연구와 본

장치의 적용범위 확대를 위한 연구가 계속되어야 할 것 같다.

참 고 문 헌

1. 한무영, 정팔진, 이정학, 정윤철, 독고석, "Report on Particle Separation Workshop," 수질보전학회지, **13**(3), 1~9(1997).
2. 추광호, Mark M. Benjamin, "흡착과 막분리 기술을 이용한 고도정수처리," 추계학술연구발표회 논문초록집, 대한환경공학회, pp. 275~276(1998).
3. Nitta Hiroyuki 外 1人, "막여과를 이용한 정수처리방법의 연구·개발상황과 과제," 첨단환경기술, **5**, 11~19(1996).
4. 김정현, 권순범, 이동주, "정수처리기술 현황," 대한상하수도학회지, **13**(1), 13~27(1999).
5. 박동근, 김규태, 오폐수중의 부유물질을 제거하는 장치 및 그 방법, 출원번호98-021197, 공개번호98-064952(1998).
6. 김수정, 김창원, 신춘환, 장정국, 박동근, "모세관사이폰현상을 이용한 부유물질제거," 추계학술연구발표회 논문초록집, 한국환경과학회, pp. 97~99(1998).
7. 김수정, 김창원, 신춘환, 장정국, 박동근, 한기백, "모세관사이폰현상을 이용한 부유물질제거: 응집제 투여량에 따른 특성," 추계학술연구발표회 논문초록집, 대한환경공학회, pp. 231~232(1999).
8. 류동일, 김준호, 신윤숙, 계면과학, 전남대학교출판부, pp. 63~82(1998).
9. 문형부, 최신 환경수리학, 신광문화사, pp. 28~31, pp. 126~129(1998).
10. 손병진, 맹주성, 이상환, 유체역학(상), 회중당, pp. 47~50(1993).
11. 전일권, 라덕관, 환경수리학, 동화기술, pp. 56~60(1997).
12. 최영박, 남선우, 박정웅, 안원식, 윤태훈, 이관수, 원순탁, 이은태, 최한규, 수리학, 보성문화사, pp. 21~23, pp. 154~157(1993).
13. 한국수도협회, 상수도 시설 기준, pp. 196~199(1997).
14. 한국수자원공사, 수도관리연보, pp. 380~398(1996).
15. 박홍석, 이상윤, "정수장 응집공정 향상을 위한 수처리제의 최적사용," 대한환경공학회지, **20**(10), 1435~1447(1998).